

アンボンドケーブル用材料(土木)

(被覆材料の比較試験)

小 須 田 紀 元*
 安 部 亘**
 高 瀬 忠 明***

1. ま え が き

アンボンドケーブルは、PC 鋼材の表面防食効果が高く、粘性抵抗の低い材料で被覆したものであり、単に PC 鋼材表面にアスファルト系の防食材を塗付するものから、防食性材料の表面に防護層を設けるものまで種々の製品が用いられている。

土木構造物では、ロックアンカー、アースアンカー、PC 枕木、桁の横締め、鉛直締め等の PC ケーブルに、主として使用されている。

PC 桁の主ケーブルとして使用した例は少ないが、今後は、防食の面で、使用するケースが増加すると考えられる。

このほか、RC 部材のひびわれ幅を制限するために付加するプレストレス用 PC ケーブルに使用することもある。

設計上、土木学会プレストレストコンクリート標準示方書では、付着がない場合として、引張鉄筋量、破壊抵抗モーメントについて特別の扱いを定めている。

アンボンドケーブルに使用される材料は、建築土木で特に変わることもないので、本稿では、アンボンドケーブルに使用される防せい材について行った比較試験の結果について報告することにした。

2. アンボンド PC 鋼材用被覆材に関する基礎試験

一般的に、コンクリート中の鉄筋が腐食から防護される大きな理由の一つにコンクリート中が強アルカリ (P-H 13 程度) 環境下にあるためといわれている¹⁾。しかし、現在の建築関係などで使用されているアンボンド PC 鋼材の防せい機構はアスファルト類あるいはグリース類で PC 鋼材を防護している。したがって、アンボンド PC 鋼材は構造的にコンクリートとは縁切りされ

ており、コンクリート中の強アルカリの影響を受けない状態にある。このようなグリースによる防せい機構を有するアンボンド PC 鋼材は万一 PC 鋼材部に雨水等の浸入があった場合、経年によるグリース等の劣化が考えられ、防せい効果が減少するおそれがある。

2.1 試験目的

本試験は従来のアンボンド PC 鋼材の防せい効果をより向上させる被覆材の開発にあたり、強制促進腐食試験を実施し検討したものである。被覆材の選定にあたっては種々の添加剤および結合剤を組合せて検討したが、これらの結果から防せい効果あるいは加工性で最適と考えられるものについて記述する。

2.2 供試体

2.2.1 供試体を使用した材料

供試体の鋼線あるいは被覆材の材料は表-1 に示すものを使用した。

表-1 供試体を使用した材料

		材 料
鋼 線		JIS G 3561 弁ばね用炭素鋼オイルテンパー線 SWO-V 直径 φ4.5 mm 引張強さ 140~155 kg/mm ²
	グ リ ー ス	リチウム系グリース ちょう度 @ 25°C 280 滴 点 200°C
被 覆 材	添 加 剤	水溶性無機材料
	結 合 剤	ポリエチレン樹脂 (PE)

2.2.2 供試体の種類

強制促進腐食試験を行った供試体は表-2 に示すものである。

表-2 強制促進腐食試験用供試体

T.P. No.	供 試 体 の 内 容	被覆層の厚さ (mm)
1	鋼線 (素線)	—
2	鋼線+グリース塗布	約 1
3	鋼線+ポリエチレン樹脂	0.5
4	鋼線+添加剤入りポリエチレン樹脂	0.5

* 日本国有鉄道構造物設計事務所

** オイレス工業 (株) 技術二部開発課課長

*** オイレス工業 (株) 技術二部開発課主任

報 告

2.3 試験方法

供試体の作製方法および強制促進腐食試験方法は下記に示すとおりである。

2.3.1 供試体の作製

鋼線へのグリース被覆は塗布によるもので、その厚さは約 1 mm とした。ポリエチレン樹脂および添加剤入りポリエチレン樹脂は押出し成形機により均一に被覆加工したものである。

2.3.2 強制促進腐食試験

強制促進腐食試験は鋼線に曲げ応力（引張側の応力を引張強さの 75% に設定）を加えた状態で行うものとする。その試験装置の概略は図-1 に示すものである。腐食による鋼線の破壊時間は試験装置にセットされたアワーメータによって記録する。

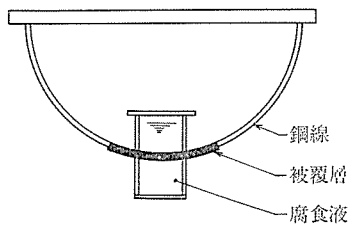


図-1 強制促進腐食試験装置の概略

腐食液は 6% H₂SO₄ 水溶液（亜硫酸水溶液）と 3.5% NaCl 水溶液（塩化ナトリウム水溶液）を採用した。供試体の浸漬条件は次に示すものである。

(1) 腐食液：6% H₂SO₄ 水溶液

供試体の浸漬条件は連続とする。

(2) 腐食液：3.5% NaCl 水溶液

供試体の浸漬条件は浸漬 5 日間、乾燥 1 日間を 1 サイクルとする試験を行う。

また、被覆層に欠陥があった場合の防せい効果を確認するために、供試体の被覆層に人工欠陥を設けた。人工欠陥は図-2 に示すようなピンホール欠陥（両腐食液で試験）と被覆層にナイフで線状に切傷を入れた線状欠陥（3.5% NaCl 水溶液のみで試験）である。

2.4 試験結果

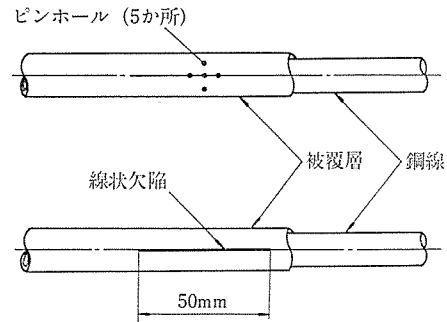


図-2 人工欠陥

2.4.1 腐食液が 6% H₂SO₄ 水溶液の場合

6% H₂SO₄ 水溶液は強酸性であるため、金属の腐食にとって非常に苛酷な条件といえる。この腐食液に供試体を浸漬した結果は表-3 に示すとおりであり、浸漬後の供試体の状態を写真-1～写真-4 に示す。

鋼線（素線）だけの場合は金属の溶出による断面欠損が大きく、破壊は 17.5 時間で発生した（写真-1 参照）。

鋼線にグリースを塗布した場合はグリースの劣化が著しく、フィルム状に凝集した状態であった。鋼線の腐食は全面に酸化スケールが生成された状態で破壊していた（写真-2 参照）。

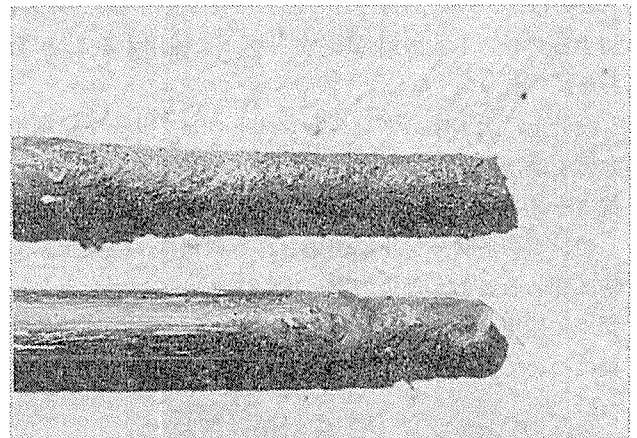
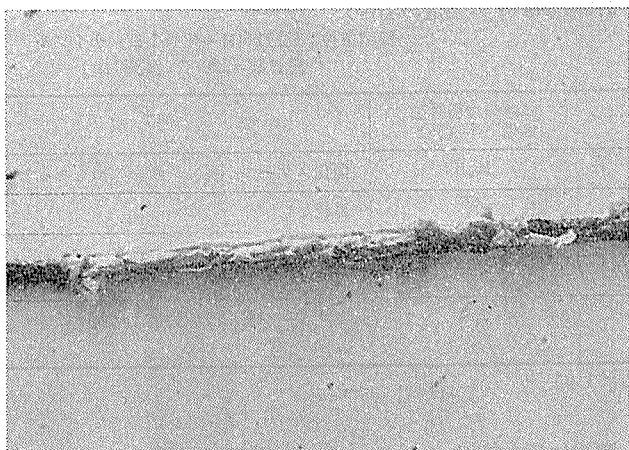


写真-1 T.P. No. 1 鋼線（素線）
（6% H₂SO₄ 水溶液）破壊時間 17.5 hr

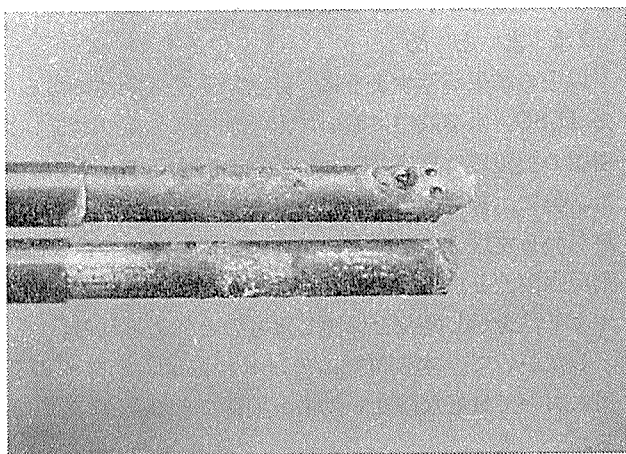
表-3 腐食試験結果（腐食液が 6% H₂SO₄ 水溶液の場合）

浸漬条件：連続

T.P. No.	供試体の種類	破壊時間 (hr)	試験後の引張強さ低下率 (%)	観 察
1	鋼線（素線）	17.5	—	断面欠損が大きい
2	鋼線+グリース塗布	191	—	グリースの劣化が著しい ぜい性破壊
3	鋼線+ポリエチレン樹脂 （ピンホール 5 か所）	144	—	ぜい性破壊
4	鋼線+添加剤入りポリエチレン樹脂 （ピンホール 5 か所）	破壊なし （経過時間 1067）	2	ほとんど異状ないがピンホール部に薄い酸化膜



写真—2 T.P. No. 2 鋼線+グリース塗布
(6% H₂SO₄ 水溶液) 破壊時間 191 hr



写真—3 T.P. No. 3 鋼線+ポリエチレン樹脂
(6% H₂SO₄ 水溶液) 破壊時間 144 hr



写真—4 T.P. No. 4 鋼線+添加剤入りポリエチレン樹脂
(6% H₂SO₄ 水溶液) 破壊時間 1067 hr

鋼線はポリエチレン樹脂を被覆し、ピンホール的人工欠陥を設けたものはピンホール部からの極部腐食が発生し、ぜい性破壊にいたっていた。また、鋼線とポリエチレン樹脂層の間にも腐食液が浸透し、鋼線が腐食していたが、ポリエチレン樹脂自体の劣化は認められなかった(写真—3 参照)。

鋼線に添加剤入りポリエチレン樹脂を被覆した場合はピンホール的人工欠陥があるにもかかわらず1067時間経過しても破壊しなかった。鋼線はピンホール部に薄い酸化膜がある程度で、ほとんど異常は認められなかった。被覆層は添加剤部に腐食液が浸透して多少白っぽくなっている程度であった(写真—4 参照)。

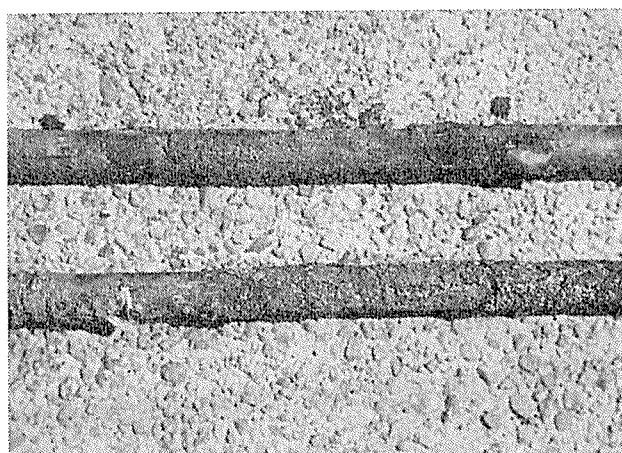
2.4.2 腐食液が 3.5% NaCl 水溶液の場合

本試験は被覆材として添加剤入りポリエチレン樹脂を用いたものを主体に塩分に対する被覆材の防せい効果を検討したものである。

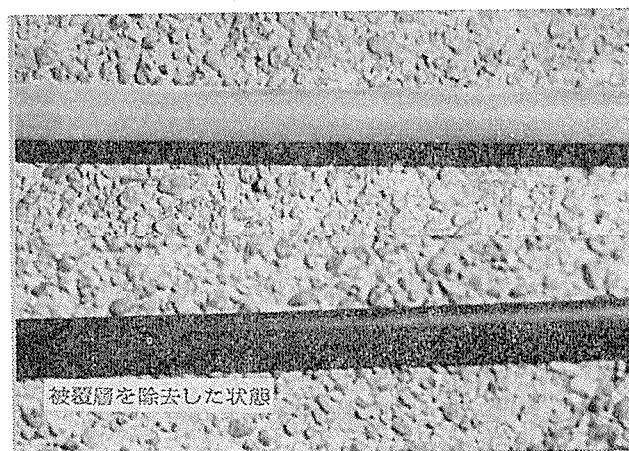
供試体を 3.5% NaCl 水溶液に浸漬した結果、いずれの供試体も破壊にはいたらなかった。試験結果は表—4 および写真—5~写真—8 に示すとおりである。

鋼線(素線)だけの場合は腐食液との接触面全体にわたって酸化スケールが多量に発生した状態であった(写真—5 参照)。

鋼線に添加剤入りポリエチレン樹脂を被覆した場合はピンホール程度の欠陥があっても腐食による強度低下は



写真—5 T.P. No. 1 鋼線(素線)
(3.5% NaCl 水溶液) 経過日数 120 日



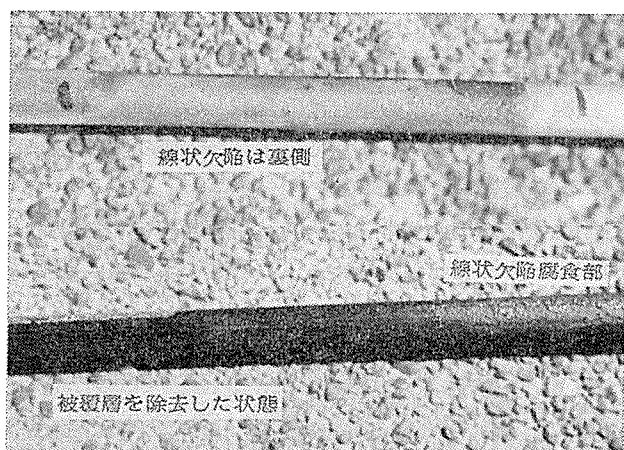
写真—6 T.P. No. 4 鋼線+添加剤入りポリエチレン樹脂
(欠陥なし)
(3.5% NaCl 水溶液) 経過日数 120 日

表—4 腐食試験結果（腐食液が 3.5% NaCl 水溶液の場合）

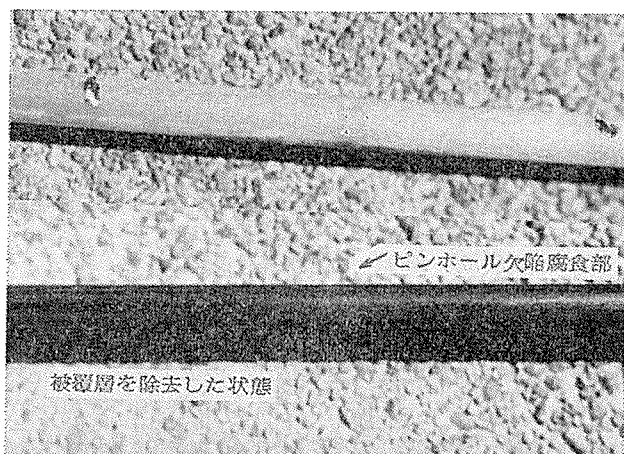
浸漬条件：（浸漬5日→乾燥1日）サイクル
総日数=120日（2880hr）

T.P. No.	供試体の種類	試験後の引張強さ低下率（%）	観 察	
1	鋼 線（素線）	15.5	酸化スケールが多く、断面欠損もあった	
4	鋼線+添加剤入りポリエチレン樹脂	欠 陥 な し	0	異状なし
		ピンホール+線状欠陥	1.7	欠陥部に酸化が認められるが、ひどいものではない
		ピンホール（5か所）	0	ピンホール部が多少変色した程度である

線状欠陥：被覆層にナイフで線状に切傷を入れた人工欠陥（鋼線に平行に1本）



写真—7 T.P. No. 4 鋼線+添加剤入りポリエチレン樹脂（ピンホール+線状欠陥）（3.5% NaCl 水溶液）経過日数 120 日



写真—8 T.P. No. 4 鋼線+添加剤入りポリエチレン樹脂（ピンホール欠陥）（3.5% NaCl 水溶液）経過日数 120 日

認められなかった。被覆層に線状欠陥がある場合には多少の酸化が認められたが、鋼線の強度低下は 1.7%程度であった（写真—6～写真—8 参照）。

また、被覆層は全く異常は認められなかった。

2.4.3 添加剤の性質

被覆材に使用している添加剤は水溶性無機材料であるが、この添加剤が水と接触した場合の性質を調査した。

鋼線に添加剤入りポリエチレン樹脂を被覆したものを蒸留水に浸漬したところ、その蒸留水は PH 12 という強アルカリ性を示すことを確認した。

2.5 ま と め

以上の結果が示すように、非常に苛酷な条件である 6% H₂SO₄ 水溶液中においても添加剤入りポリエチレン樹脂の被覆層は良好な防せい効果を有することがわかった。特に、被覆層にピンホールなどの欠陥があったにもかかわらず鋼線の破壊までにはいたらなかったのは、添加剤が水溶液と接触した場合、その接触部が局部的に強アルカリ性を示し鋼線を保護したものと考えられる。

したがって、本被覆材はアンボンド PC 鋼材への適用において良好な防せい効果が期待できると考えられる。

3. アンボンド PC 鋼材の構造

アンボンド PC 鋼材の基本的構造はあらかじめ鋼材の表面に防せい材を施し、さらにその外側に保護巻紙あるいは保護シースを配置したものをそのままコンクリート中に打設し、コンクリートの硬化後所定のプレストレスを導入することができるものである。

3.1 アンボンド PC 鋼材の断面

一般的なアンボンド PC 鋼材の構造は PC 鋼棒表面に防せい材を塗布した塗布型アンボンド PC 鋼棒と PC 鋼より線にシースを配置したシース付きアンボンド PC 鋼より線の二種類に分けることができ、その断面を図—3 に示す²⁾。図—3 の断面は従来型のアンボンド PC 鋼材のものであり、新型アンボンド PC 鋼材の断面は図—4 に示すものである。新型アンボンド PC 鋼材の構造は PC 鋼材に前項で述べた添加剤入りポリエチレン樹脂を被覆し、外層のシースとの間にグリース層を配置したもので、従来の防せい機能をより向上させたものである。

アンボンド PC 鋼材に使用される防せい材の一般的な材質はグリース類およびアスファルト類が使用され、防せい効果と同時に、PC 鋼材にプレストレスを導入する

表-5 アンボンド PC 鋼材用防せい材の品質試験方法と判定規準

項 目	試験方法	判 定 規 準	備 考
混和 ちよう度	JIS K 2560	試験温度 25°C で 250~350	グリース類 に適用
針 入 度	JIS K 2530	試験温度 25°C で 75~130	
滴 点	JIS K 2561	>100°C	アスファル ト類に適用
引 火 点	JIS K 2274	>200°C	
軟 化 点	JIS K 2531	>130°C	
流 下 試 験	JIS Z 1802	80°C 24 時間以上	
フラス破壊点	JIS A 6011	-30°C 以下	
低 温 付 着 性	JIS Z 0236	-17.5°C 1 時間以上	
遊 離 酸	JIS K 2562	損失量 <0.2 wt/o	
遊離アルカリ	JIS K 2562	損失量 <0.2 wt/o	
酸 化 安 定 度	JIS K 2569	98.9°C 100 時間で <2 kg/cm ²	

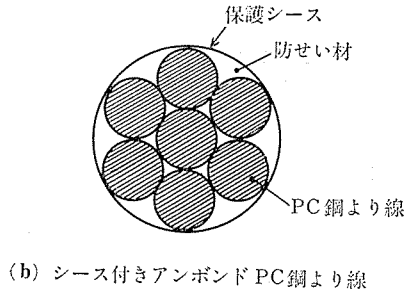
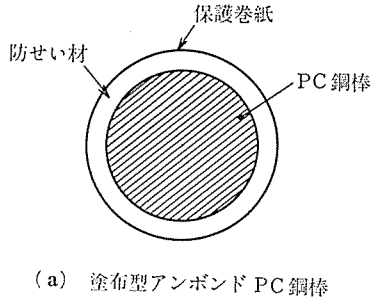


図-3 従来型アンボンド PC 鋼材断面

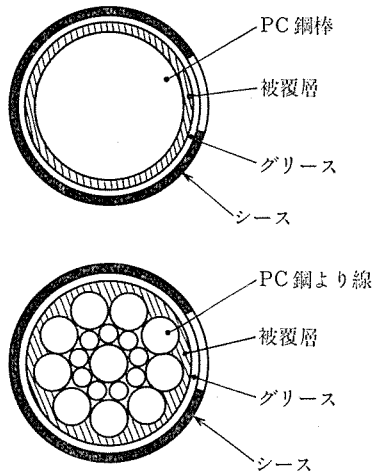


図-4 改良型アンボンド PC 鋼材断面

際に摩擦抵抗を低減させる機能が必要である。これらの防せい材の品質については建築学会の方針(表-5)を参考にする必要がある³⁾。

改良型アンボンド PC 鋼材の被覆材は防せい効果以外に、PC 鋼材にプレストレスを導入する際、PC 鋼材の伸びに追従する機能を持っている必要がある。

3.2 アンボンド PC 鋼材の定着

アンボンド PC 鋼材の定着は通常のポストテンション方式と同様な方式を採用することができる。定着部の処置は一例として図-5に示すように、定着具および PC 鋼材端部の防せいを確保するため、あるいは万一の事故に対しての保護のためにモルタルあるいはコンクリート等で被覆する必要がある。

また、PC 鋼材と定着具の間に空間ができる可能性も考えられるため、あらかじめ空間を埋めるような防せい材を被覆しておくことが望まれる。この防せい材としては比較的粘度の高いアスファルト類あるいは経年変化に強いパテ状物質等があげられる。

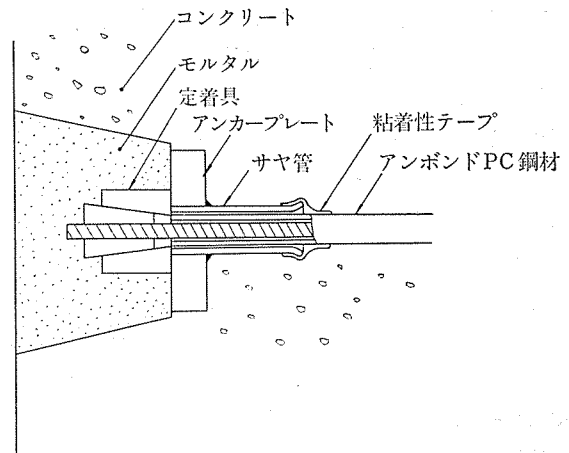


図-5 定着部の処理方法の例

4. アンボンド PC 鋼材の使用状況

アンボンド PC 鋼材の土木関係への応用は、最近試行的に採用されているのが現状であるが、より広範囲にわたっての利用が考えられる。

橋梁関係においては PC 桁の横締め、あるいは鉛直締め等が考えられる。実施例として、改良型アンボンド PC 鋼より線が東海道本線・野洲川橋梁(PC 下路桁)の横締め用に普通のボンド工法と併用して試行的に採用された⁴⁾。使用した新型アンボンド PC 鋼材の構造は図-4に示したシングルストランド(1T21.8)を採用している。改良型アンボンド PC 鋼より線の試行的採用にあたり、前もって各種試験が日本国有鉄道・大阪工務局にて行われた⁵⁾。その報告によれば、摩擦係数(μ)は

報 告

普通のボンド工法に比較し、 $1/3 \sim 1/4$ という値が得られている。その他、静的および繰返し载荷における PC 鋼材応力度変動等も確認され、アンボンド部材にした場合の実用性を検討している。防せい効果については今後の調査に依存するところである。

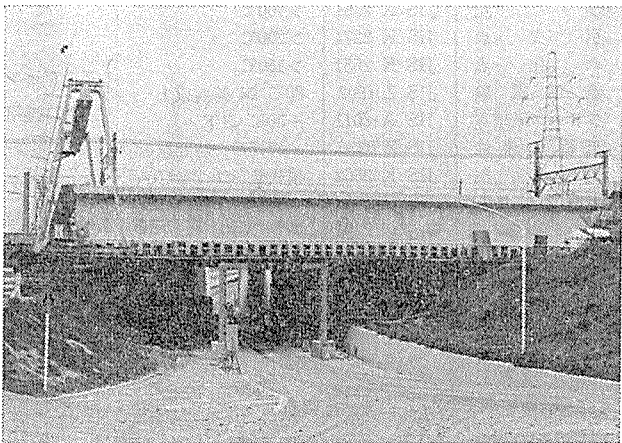


写真-9 東海道本線・野洲川橋梁・PC 下路桁

また、鋼桁においては線路方向の桁移動を制限するために、アバットと鋼桁とをアンボンド PC 鋼棒で接続し、PC 鋼棒の全長にわたって伸縮可能な設計がなされた例がある。

土木工事においてはしばしばケーソン工法が採用されることがあるが、ケーソンの各ブロックの接合にアンボンド PC 鋼材の採用が考えられる。特に、後日ケーソンの一部を撤去したい場合等、アンボンド PC 鋼材がその特性を発揮するところである。一例として、新型アンボンド PC 鋼棒が海底地質調査坑用ケーソンのブロック接合に使用された。これは海底地質調査後、海上部分のケーソンを撤去する必要があったためアンボンド工法が採用された。

このほかの応用としてはアースアンカーへの適用が考えられる。このアンカー工法については山田氏⁶⁾らによって詳しく説明されているが、この工法に使用される PC 鋼材にアンボンド方式も採用されている。

さらに、その他の使用としては枕木、PC タンク等広範囲の利用が考えられるが、摩擦係数が低いというアンボンド PC 鋼材の特性から PC タンクへの利用価値は大きいものと考えられる。



写真-10 ケーソンの接合に使用した改良型アンボンド PC 鋼棒

5. あとがき

試験結果を用いて、従来のアンボンドケーブルに若干手を加えたものを新型と称しているが、アンボンドケーブルを、PC 桁の主ケーブル等のより広い範囲に使用するためには、まだ改良すべき点がある。

ポストテンション PC 桁の主ケーブルの防せいは、セメントペーストのグラウトに期待しているが、このためにはグラウトの充填が完全でなくてはならないが、この条件に対する信頼度は、必ずしも十分でなく、アンボンド工法の今後の発展が期待される。

参 考 文 献

- 1) 岸谷：鉄筋コンクリート構造物の腐食について，防食技術，Vol. 24, No. 3, p. 137, 1975
- 2) 六車：アンボンドプレストレストコンクリート，材料，Vol. 26, No. 287, p. 719, 1977
- 3) 鈴木：アンボンド部材の設計と取扱い 指針—建築学会の方針—，プレストレストコンクリート，Vol. 22, No. 6, p. 16, Dec. 1980
- 4) 鳥居，安村，大石，長澤：東海道本線 野洲川橋梁（PC 下路桁）の設計・施工について，プレストレストコンクリート，Vol. 23, No. 3, p. 61, May, 1981
- 5) 松岡：野洲川橋りょう上部工（PC 下路けた）の施工に伴う各種測定工について，国鉄・大阪工務局機関誌，Vol. 25, 1979
- 6) 山田，中西：アンカー工法の現状と展望，プレストレストコンクリート，Vol. 23, No. 3, p. 23, May, 1981